

СТАДИЙНОСТЬ РАЗВИТИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТИТАНА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

*М.Ю. Грошева, студентка НИ ТПУ ИФВТ гр.4БМ32, Т.Ф. Елсукова, д.ф.-м.
н., вед.н.с., Ю.Ф.Попкова, м.н.с. ИФПМ СО РАН
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-53-15-69
E-mail: _masha_@mail2000.ru*

Введение

Одной из основных задач современного материаловедения является изучение природы усталостного разрушения, так как от сопротивления усталости во многом зависит рабочий потенциал конструкций и изделий в машиностроении. В связи с этим проблема усталостного разрушения является исключительно актуальной. С точки зрения ее решения наиболее важными и сложными являются вопросы, связанные с механизмами процессов, происходящих в материале при циклическом нагружении.

В физической мезомеханике пластическая деформация и разрушение твердых тел рассматриваются как две последовательные органически взаимосвязанные стадии одного процесса потери их сдвиговой устойчивости, представление о котором основано на анализе иерархии самосогласования поворотных мод деформации [1].

Учитывая, что на практике одним из важнейших видов разрушения металлов и сплавов является усталостное разрушение, а одним из значимых промышленных металлов является титан, цель настоящей работы – исследование закономерностей и механизмов пластической деформации и разрушения на мезо- и макромасштабном уровнях при циклическом нагружении технического титана.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования использовали технический титан ВТ1-0 в исходном и наводороженном состояниях. В постановке данной работы титан интересен тем, что, с одной стороны, он характеризуется очень высокой температурой плавления вследствие высоких сил связи в кристаллической решетке и высоким модулем сдвига, с другой – он имеет низкую сдвиговую устойчивость (его энергия дефекта упаковки всего 10 мДж/м^2) и склонен к полиморфизму. При высоких прочностных характеристиках объема в поверхностных слоях титана при нагружении можно ожидать облегченное развитие процессов структурных перестроений из одной кристаллической решетки в другую.

Испытания на усталость проводили знакопеременным изгибом при комнатной температуре в режиме многоциклового усталости.

Трехмерную поверхностную картину мезоскопической субструктуры получали с использованием микроскопа Zeiss Axiovert 25CA, снабженного устройством DIC для получения дифференциально – интерференционного контраста. Для трехмерного анализа геометрической структуры поверхности использовали сканирующий интерференционный микроскоп New View 6200.

Результаты исследования

Усталостное разрушение деформируемого материала начинается обычно в поверхностных слоях, которые в представлениях физической мезомеханики являются важной самостоятельной функциональной подсистемой.

Выполненное в настоящей работе исследование мезосубструктуры поверхностных слоев титана на разных этапах знакопеременного изгиба показало аномально низкую их сдвиговую устойчивость. Помимо этого установлена и очень низкая сдвиговая устойчивость границ зерен в поверхностных слоях титана. Об этом свидетельствует эффект экструзии зерен, который в ходе испытаний значительно увеличился (рис. 1). Экструзия зерен есть проявление механизма движения зерен как целого. В титане он реализуется при низкой температуре (0,2Тпл), что свидетельствует об очень низкой сдвиговой устойчивости границ зерен.

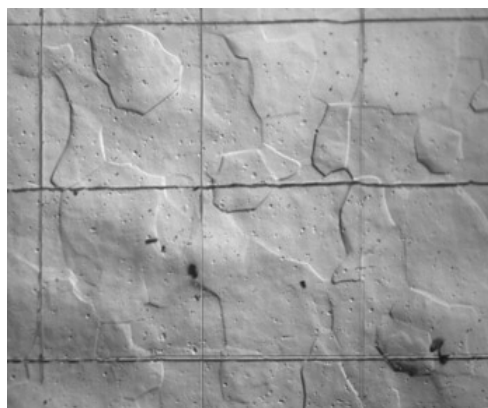


Рисунок 1. Экструзия поверхностных зерен Ti VT1-0, $N=10^4$ ц, $\times 150$

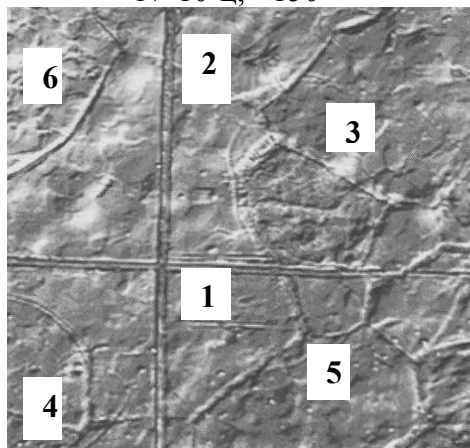


Рисунок 2. Структура рекристаллизованного Ti VT1-0, $\times 375$

Влияние поверхностного насыщения образца титана водородом на состояние поверхностного слоя оказалось столь сильным, что сразу после водородной обработки в поверхностном слое сформировалась мезосубструктура в виде конгломератов зерен (рис. 2). При последующем знакопеременном изгибе такого образца развивается сильно выраженный эффект экструзии – интрузии указанных конгломератов зерен (рис. 3).

Наиболее типичной мезоструктурой, формирующейся в активных конгломератах зерен, является полосовая.



Рисунок 3. Конгломераты зерен в Ti VT1-0 после наводороживания; оптическое изображение. $N=35 \times 10^6$ циклов. $\times 550$

Это система сравнительно тонких мезополос локализованного пластического течения, распространяющихся, как правило, в сопряженных направлениях максимальных касательных напряжений. Характерным для такой мезоструктуры является развитие мезополос в условиях сильного гофрирования поверхностного

наводороженного слоя. Это приводит к существенному искривлению траектории их движения. Продвигаясь к встречной границе конгломерата мезополосы испытывают сильно выраженный поворот направления своего движения, продолжая распространяться вдоль этой границы. Зарождаются мезополосы локализованной деформации на границе конгломерата зерен в зонах мезоконцентраторов напряжений критической мощности.

Сопряжение пластически деформируемых поверхностных конгломератов зерен с упруго деформируемой подложкой вызывает формирование мезосубструктуры еще более высокого мезоуровня II – образования замкнутых суперпетель экструдированных конгломератов. Средний размер этих суперпетель около 200 мкм, средняя разность высот экструдированных и интродуцированных конгломератов в суперпетле достигает 1,5 мкм. Они сформировались на участке поверхности образца вблизи неподвижного захвата, где создается максимальная амплитуда изгиба, и на конечной стадии усталости формируется магистральная усталостная трещина.

На рисунке 4 представлен общий вид магистральной усталостной трещины в титане, имеющей ярко выраженный зигзагообразный характер.

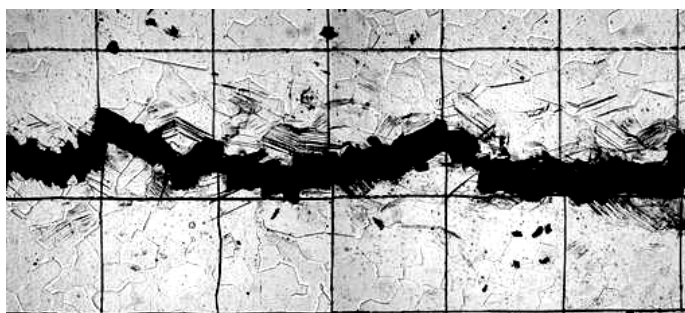


Рисунок 4. Ti VT1-0. Объемная оптическая картина общего вида усталостной трещины, $N_p=7.55 \times 10^5$ ц., $\times 170$, DIC

Как правило, они распространяются вблизи границ деформационных конгломератов зерен. Распространение трещины есть поворотная мода деформации на макромасштабном уровне. В соответствии с законом сохранения момента количества движения в материале, окружающем трещину, должны развиваться аккомодационные поворотные механизмы на более низких структурно-масштабных уровнях. В соответствии с этим появлению трещины в зоне её зарождения предшествуют в ходе циклического нагружения: локализованная пластическая деформация, сопровождаемая материальным поворотом в поверхностном слое и вихревой аккомодационной деформацией в подложке, множественное скольжение и фрагментация материала как кристаллографические повороты на мезомасштабном уровне, обуславливающие формирование трансляционно-ротационных мезообъемов (рис. 5).

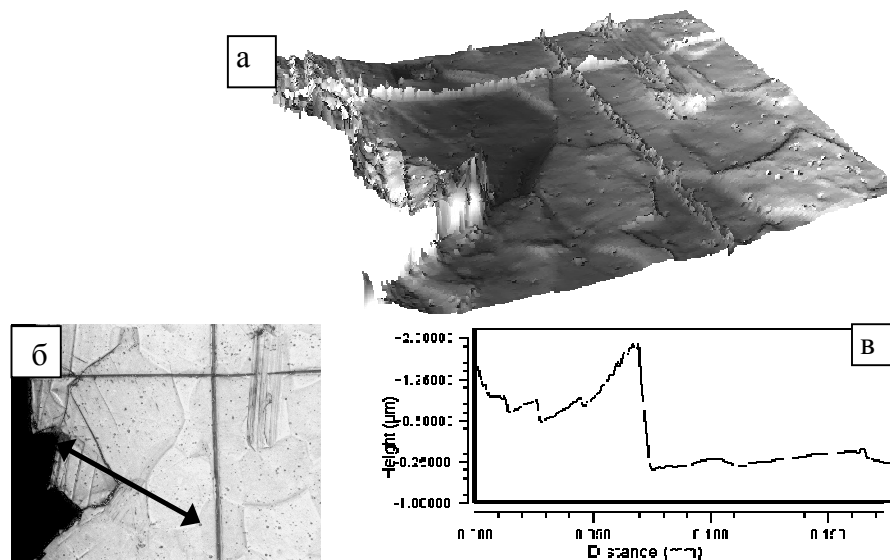


Рисунок 5. а) Ti VT1-0, $\times 545$, б) 3D изображение, в) профилограмма.

Методом интерференционной профилометрии выявлено развитие микропористости в зонах сильной кривизны. В отдельных местах поры объединились с формированием аккомодационных микротрещин, аккомодируя раскрытие магистральной трещины (рис.6). В других местах со сложным профилем кривизны микропоры сохранились, что обусловило прерывистый характер аккомодационных трещин. Установлено, что поры формируются в зонах глубокой интрузии с сильной кривизной.

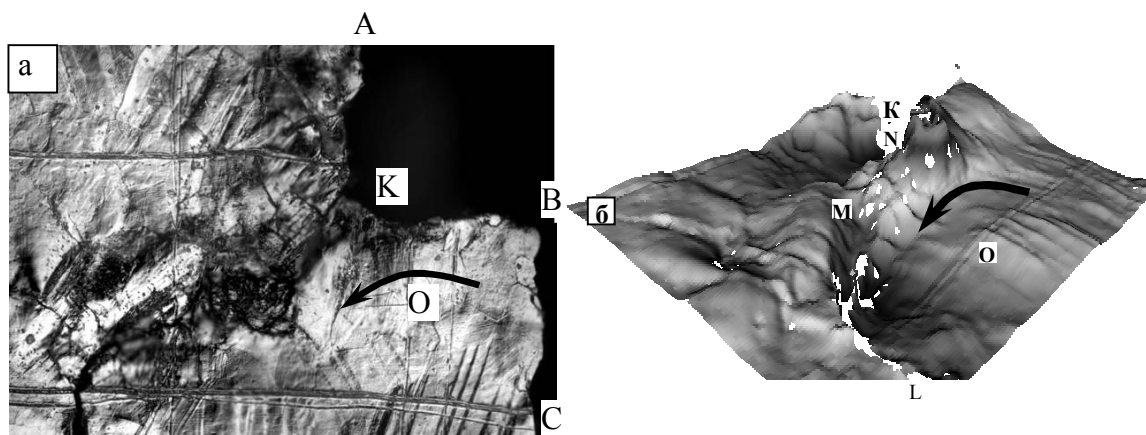


Рис. 6. Ti-H₂. Оптическое изображение фрагмента поверхностного слоя вблизи магистральной усталостной трещины АКВС и аккомодационной трещины KL, $\times 180$ (а); Интерференционная 3D картина распространения трещины KL путем формирования и коагуляции микропор, $\times 200$ (б). $N=10^5$ Гц.

Вопрос о механизме возникновения микропор в зонах сильной кривизны и их определяющей роли в распространении трещин является особенно актуальным в теории усталостного разрушения. В литературе он обсуждался только в проблеме межзеренного разрушения при высокотемпературной ползучести и усталости, когда интенсивно развиваются диффузионные процессы. В настоящем исследовании

усталостное разрушение развивается при $T=0,2T_{пл}$ титана, когда процессы диффузии подавлены. Но при этом очень сильно выражены эффекты кривизны в наводороженном поверхностном слое титана. Их определяющая роль установлена в настоящей работе: усталостная трещина распространяется не по границам зерен, испытывающих поворот, а через зоны глубокой интрузии в приграничных зонах, в которых сформировалась сильная кривизна.

Заключение

Проведенный в настоящей работе анализ показал, что в исследованных поликристаллах технического титана в исходном и наводороженном состояниях в поверхностных слоях при знакопеременном изгибе формируется крупномасштабная мезоскопическая субструктура-II, с которой связано зарождение поверхностных усталостных трещин. Элементами мезосубструктуры-II являются конгломераты самосогласованно деформирующихся зерен.

Определяющую роль в зарождении и развитии усталостных трещин, как структурно – фазового распада материала играет формирование зон локальной кривизны, возникающей при генерации в твердом теле любых дефектов и выраженной особенно сильно в поверхностном слое.

Методом интерференционной профилометрии в зонах сильной кривизны в Ti-H₂ выявлено формирование микропор, объединяющихся в усталостные трещины. Причина её формирования в сильной кривизне материала, приводящей к резкому ослаблению межатомных связей. Установлено, что в условиях низких температур формирование микропористости происходит в границах поворотного типа, где возникает кривизна и растягивающие нормальные напряжения.

Список литературы:

1. Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов: В 2-х томах. // Под ред. В.Е. Панина. - Новосибирск: Наука. - 1995. - 297 и 320с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 08X17N14M2 ПОСЛЕ НАВОДОРОЖИВАНИЯ И ПРОКАТКИ

Т.А. Козлова¹, студент гр. 4БМ32, Е.В. Мельнико², аспирант

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30*

² *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, Россия, г.
Томск, пр. Академический, 2/4*

E-mail: Tati21@inbox.ru

Проблема водорода в металлах и сплавах постоянно находится в центре внимания широкого круга исследователей – физиков, химиков, металлургов и др. Интерес к этой проблеме из года в год растет. Исключить проникновение водорода в материалы не удастся из-за большого содержания водорода в атмосфере и водной